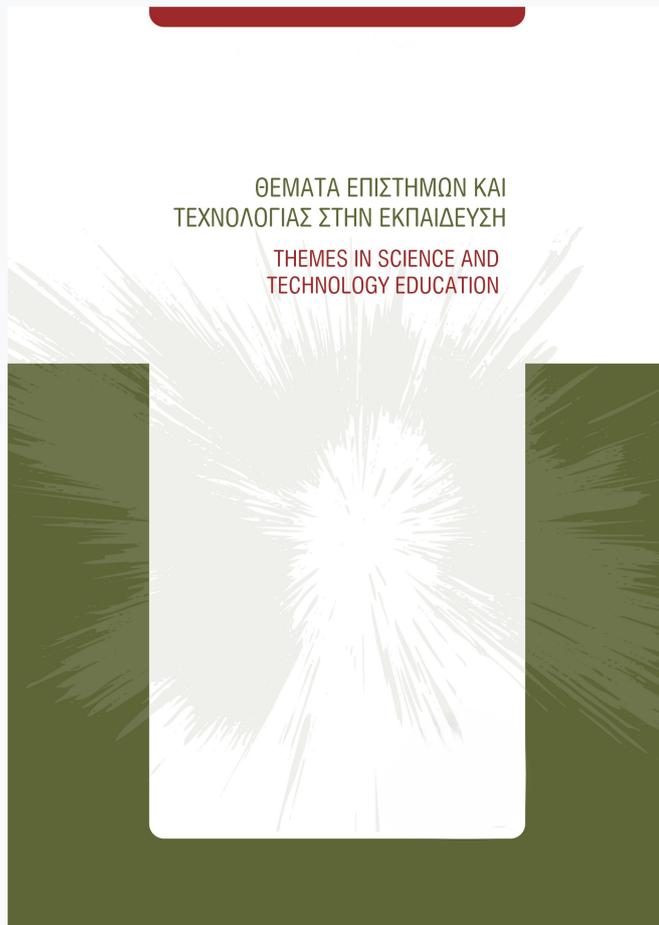


Themes in Science and Technology Education

Vol 1, No 2 (2008)



Αναγνώριση και Ερμηνεία Χημικών Φαινομένων από Μαθητές Στ' Δημοτικού

Γιώργος Παπαγεωργίου

To cite this article:

Παπαγεωργίου Γ. (2008). Αναγνώριση και Ερμηνεία Χημικών Φαινομένων από Μαθητές Στ' Δημοτικού. *Themes in Science and Technology Education*, 1(2), 7-26. Retrieved from <https://ejournals.epublishing.ekt.gr/index.php/thete/article/view/44679>

Αναγνώριση και Ερμηνεία Χημικών Φαινομένων από Μαθητές Στ' Δημοτικού

Γιώργος Παπαγεωργίου¹ και Λαμπριάννα Γκαβάκη²
gpaageo@eled.duth.gr

Περίληψη

Η έρευνα αυτή σκοπό έχει τη διερεύνηση του βαθμού στον οποίο μια σειρά κατάλληλα σχεδιασμένων μαθημάτων με βάση τη σωματιδιακή θεωρία της ύλης, μπορεί να βοηθήσει μαθητές Στ' δημοτικού να αναγνωρίσουν και να ερμηνεύσουν συγκεκριμένα χημικά φαινόμενα. Για το σκοπό αυτό, 24 συνολικά μαθητές από δύο σχολικές τάξεις (πειραματική και ελέγχου) υποβλήθηκαν σε κλινικές συνεντεύξεις πριν και μετά την παρέμβαση. Τα αποτελέσματα δείχνουν τη δυσκολία των μαθητών να υιοθετήσουν την ιδέα της χημικής αλλαγής ακόμη και μετά τη σχετική παρέμβαση, αλλά παράλληλα υπάρχουν σαφείς ενδείξεις ότι η σωματιδιακή θεωρία μπορεί να βοηθήσει ως ένα βαθμό στην ερμηνεία των χημικών φαινομένων.

Εισαγωγή

Ο βαθμός στον οποίο οι μαθητές αναγνωρίζουν, περιγράφουν ή ακόμη και ερμηνεύουν μια χημική αλλαγή έχει γίνει αρκετές φορές τα τελευταία χρόνια αντικείμενο έρευνας. Οι έρευνες αυτές την τελευταία δεκαετία ασχολούνται συχνά με μαθητές μικρής ηλικίας (11 – 14 ετών), αν και το ενδιαφέρον των ερευνητών επεκτείνεται και σε μεγαλύτερες ηλικίες (Ahtee & Varjola, 1998; Stavridou & Solomonidou, 1998; Boo, 1998; Baker & Millar, 1999; Johnson, 2000; Boo & Watson, 2001; Brosnan & Reynolds, 2001; Johnson, 2002; Solsona et al, 2003; Tsaparlis, 2003; Calik & Ayas, 2005; Liu & Lesniak, 2006). Σ' αυτές, κοινή διαπίστωση

¹ Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

² Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

είναι ότι υπάρχει μια ιδιαίτερη δυσκολία στους μαθητές να προσεγγίσουν ένα χημικό φαινόμενο. Η τάση των μαθητών εντοπίζεται περισσότερο στο να περιγράψουν και να ερμηνεύουν τα φαινόμενα ως φυσικά. Όπως αναφέρουν χαρακτηριστικά οι Liu και Lesniak (2006), οι μαθητές ηλικίας περίπου 11 ετών έχουν αρχίσει μιν να αναπτύσσουν την ιδέα της χημικής αλλαγής, αλλά η ικανότητά τους να ερμηνεύουν χημικά φαινόμενα δεν ξεκινά νωρίτερα από τα 14 τους χρόνια. Αν και στις μεγαλύτερες αυτές ηλικίες η προσέγγιση μιας χημικής αλλαγής φαίνεται να γίνεται σχετικά πιο εύκολα, ο αριθμός των μαθητών που παρουσιάζει σημαντικό αριθμό σχετικών παρανοήσεων είναι ακόμη μεγάλος (Johnson, 2002; Solsona et al, 2003). Έτσι, είναι πολύ δύσκολο να μιλήσει κανείς για πλήρη ερμηνεία χημικών φαινομένων ακόμη και σε μεγάλες ηλικίες. Είναι χαρακτηριστικό ότι ακόμη και φοιτητές που έχουν διδαχθεί Χημεία στο Πανεπιστήμιο, έχουν αναπτύξει αυτή την ερμηνευτική ικανότητα μόνο σ' ένα μικρό ποσοστό (Ahtee & Varjola, 1998). Ακόμη, σε αρκετές περιπτώσεις οι έρευνες δείχνουν ότι, αν και οι μαθητές φαινομενικά παρουσιάζουν μια εικόνα που θα μπορούσε να θεωρηθεί ως «κατανόηση χημικών φαινομένων», αυτό δεν συμβαίνει πάντα στην πραγματικότητα. Σε έρευνα για παράδειγμα που πραγματοποιήθηκε στη Ισπανία (Solsona et al, 2003), διαπιστώθηκε ότι ήταν μεγάλο το ποσοστό των μαθητών που τελείωναν τη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση (17 – 18 ετών) και μπορούσαν να εργάζονται μ' ένα «μηχανικό τρόπο» πάνω στις χημικές αντιδράσεις, κυρίως σε μικροσκοπικό επίπεδο, χωρίς όμως απαραίτητα να έχουν κατανοήσει την έννοια της χημικής αλλαγής.

Η δυσκολία αυτή στην προσέγγιση της έννοιας της χημικής αλλαγής φαίνεται να παραμένει ακόμη κι όταν οι μαθητές παρακολουθούν μαθήματα στα πλαίσια σχετικών διδακτικών παρεμβάσεων. Ενδεικτικά, όταν ο Johnson (2002) πραγματοποίησε διδασκαλίες για μια περίοδο τριών ετών, στις οποίες περιλαμβάνονταν ειδικά κεφάλαια για την κατανόηση των χημικών φαινομένων, υπήρξε μιν πρόοδος ως προς το βαθμό αναγνώρισης και ερμηνείας των χημικών αλλαγών, όμως αυτή ήταν σχετικά περιορισμένη.

Ωστόσο, η πρόοδος των μαθητών σχετικά με την κατανόηση των φαινομένων (χημικών ή φυσικών), σχετίζεται και με τον τρόπο που σχεδιάζει κανείς την πορεία των παρεμβάσεων. Ο Johnstone (2000) για παράδειγμα δίνει ιδιαίτερη σημασία στη διάκριση με σαφήνεια των επιπέδων «μακροσκοπικό – μικροσκοπικό – συμβολικό» κατά τη διάρκεια της ερμηνείας ενός φαινομένου, καθώς και στη σταδιακή μετάβαση από το ένα επίπεδο στο άλλο μέσω μιας συγκεκριμένης στρατηγικής, σ' όλη τη διάρκεια της διδασκαλίας. Σημαντικό ακόμη σ' αυτήν την πορεία είναι να διευκρινίζονται και να κατακτιόνται σε βάθος πρωταρχικές έν-

νοιες, πριν προχωρήσει κανείς στη διαχείριση πολυπλοκότερων εννοιών. Έτσι, πολλοί ερευνητές (Johnson, 1998a, b; Stavridou & Solomonidou, 1998; Solomonidou & Stavridou, 2000; Calik & Ayas, 2005; Liu & Lesniak, 2006) τονίζουν ότι για να φτάσει κανείς στο σημείο να κατανοήσει τις αλλαγές των ουσιών, θα πρέπει πρώτα να έχει κατανοήσει σε μεγάλο βαθμό την ίδια την έννοια της ουσίας. Για να γίνει αυτό, φαίνεται ότι είναι σημαντικό να αναπτυχθούν μοντέλα και γενικότερα θεωρίες που βοηθούν στην κατανόηση της ίδιας της δομής των ουσιών. Προς αυτή την κατεύθυνση κινείται και σωματιδιακή θεωρία της ύλης, η συμβολή της οποίας στην κατανόηση της δομής των ουσιών έχει αρκετές φορές τονιστεί τα τελευταία χρόνια (Johnson, 1998a; Paik et al, 2004; Ardac & Akaygun, 2005; Calik & Ayas, 2005; Papageorgiou & Johnson, 2005).

Έτσι το ερώτημα που προκύπτει είναι, αν και κατά πόσο, διδακτικές παρεμβάσεις που λαμβάνουν υπόψη όλα τα παραπάνω, μπορούν να βοηθήσουν τους μαθητές να κατανοήσουν τα χημικά φαινόμενα. Είναι θετικό για παράδειγμα ότι, για τα φυσικά φαινόμενα, σχετικές έρευνες (Paik et al., 2004; Johnson, 1998b; Papageorgiou & Johnson, 2005; Παπαγεωργίου κ.α., 2007) δείχνουν ότι η διδασκαλία της σωματιδιακής θεωρίας βοήθησε σε σημαντικό βαθμό τους μαθητές να ερμηνεύσουν καλύτερα και με συνέπεια διάφορα φυσικά φαινόμενα. Θα μπορούσε να περιμένει κανείς αντίστοιχα θετικές εξελίξεις και στην περίπτωση των χημικών φαινομένων;

Με βάση αυτό τον προβληματισμό, σχεδιάσαμε μια έρευνα με σκοπό να διερευνηθεί ο βαθμός στον οποίο, μια σειρά κατάλληλα σχεδιασμένων μαθημάτων που κάνει συστηματική χρήση της σωματιδιακής θεωρίας της ύλης και επιπλέον λαμβάνει υπόψη της όλα τα παραπάνω, μπορεί να βοηθήσει μαθητές Στ' δημοτικού να κατανοήσουν καλύτερα τη δομή της ύλης και να αναγνωρίσουν – ερμηνεύσουν συγκεκριμένα χημικά φαινόμενα με βάση τη θεωρία αυτή.

Μεθοδολογία

Στα πλαίσια του γενικότερου στόχου της έρευνας διαμορφώθηκαν τα εξής επιμέρους ερευνητικά ερωτήματα:

1. Σε ποιο βαθμό, μαθητές της Στ' δημοτικού μπορούν να βελτιώσουν τις απόψεις τους για τη δομή της ύλης, μετά από μια κατάλληλα σχεδιασμένη διδακτική παρέμβαση;
2. Σε ποιο βαθμό μια διδακτική παρέμβαση 8 ωρών με χρήση της σωματιδιακής θεωρίας της ύλης μπορεί να δώσει τη δυνατότητα σε μαθητές της Στ' δημοτικού

τικού να αναγνωρίζουν χημικά φαινόμενα και να τα ερμηνεύουν με βάση τη θεωρία αυτή;

3. Σε ποιο βαθμό η ανάπτυξη σωματιδιακών ιδεών σχετίζεται με τον τρόπο ερμηνείας των χημικών φαινομένων;

Για την απάντηση των παραπάνω ερωτημάτων σχεδιάστηκε μια έρευνα, στην οποία μετείχαν οι μαθητές δύο Στ' τάξεων ενός δημοτικού σχολείου της Αλεξανδρούπολης. Από αυτούς επιλέχθηκαν 12 μαθητές από κάθε τάξη (συνολικά 24 μαθητές). Η επιλογή των μαθητών έγινε με βάση την επίδοσή τους και το φύλο, με στόχο τη συγκρότηση δύο ομάδων με όσο το δυνατόν παράλληλα χαρακτηριστικά. Δηλαδή, οι μαθητές κάθε τάξης χωρίστηκαν σε τρία επίπεδα επίδοσης (καλό, μέτριο, αδύνατο) και από κάθε επίπεδο επιλέχθηκαν τυχαία δύο αγόρια και δύο κορίτσια. Από τις δύο ομάδες που συγκροτήθηκαν, η πρώτη, οι μαθητές της οποίας ανήκαν στην τάξη όπου πραγματοποιήθηκε η διδακτική παρέμβαση, αποτέλεσε την πειραματική ομάδα (Π.Ο.). Αντίθετα, η δεύτερη ομάδα, οι μαθητές της οποίας ανήκαν στην τάξη όπου δεν έγινε καμία παρέμβαση, αποτέλεσε την ομάδα ελέγχου (Ο.Ε.). Στόχος της συγκρότησης της Ο.Ε. ήταν να ελεγχθούν άλλοι παράγοντες, πιθανόν από το περιβάλλον του σχολείου, που τυχόν θα επηρέαζαν τις απόψεις των μαθητών κατά το χρονικό διάστημα πραγματοποίησης της έρευνας. Σ' αυτούς τους 24 συνολικά μαθητές έγιναν δύο μετρήσεις, που χρονικά ήταν η 1^η μέτρηση μια εβδομάδα πριν την παρέμβαση και η 2^η μέτρηση ένα μήνα μετά την παρέμβαση.

Η παρέμβαση που πραγματοποιήθηκε στην τάξη με την πειραματική ομάδα, διήρκησε συνολικά 8 διδακτικές ώρες (2 ώρες ανά εβδομάδα). Τα βασικά σημεία αυτής της παρέμβασης ήταν τα εξής:

- Οι μαθητές προσανατολίστηκαν στο να εργάζονται με βάση τις ιδιότητες των υλικών. Έγινε διάκριση των ιδιοτήτων των υλικών από τις ιδιότητες των αντίστοιχων αντικειμένων. Μελετήθηκαν με πραγματοποίηση απλών πειραμάτων, ιδιότητες που σχετίζονται μόνον με τα υλικά (τήξη) και ιδιότητες που σχετίζονται και με τα υλικά και με τα αντίστοιχα αντικείμενα (επίπλευση).
- Έγινε διάκριση των «καθαρών ουσιών» από τα «μίγματα» και διευκρινίστηκε ότι οι μαθητές θα εργαστούν στη συνέχεια με (καθαρές) ουσίες. Για τη διάκριση αυτή μελετήθηκε πειραματικά η τήξη ενός μίγματος (σοκολάτα) και μιας ουσίας που πρακτικά συμπεριφέρεται ως καθαρή ουσία (κερί).
- Παρουσιάστηκαν οι βασικές αρχές της σωματιδιακής θεωρίας (Papageorgiou & Johnson, 2005) και έγιναν αντιστοιχίσεις με καταστάσεις του μακρόκο-

σμου, κάνοντας χρήση παιχνιδιών προσομοίωσης μέσα στην τάξη. Έγινε μελέτη και των τριών καταστάσεων σε μικροσκοπικό επίπεδο, καθώς και αντιστοιχίσεις τους με μακροσκοπικές ιδιότητες.

- Έγινε διεύρυνση του απλού σωματιδικού μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε αρχικά, κάνοντας διάκριση των σωματιδίων που υπάρχουν μέσα στις ουσίες σε μόρια και άτομα. Τα άτομα παρουσιάστηκαν ως ο απλούστερος τύπος σωματιδίων, ενώ τα μόρια ως τα πολυπλοκότερα σωματίδια που προέρχονται από συνδυασμό συγκεκριμένου αριθμού ατόμων. Έγινε εισαγωγή της έννοιας του δεσμού, ως η ισχυρή δύναμη που αναπτύσσεται μεταξύ ατόμων και στη συνέχεια έγινε διάκριση μεταξύ δεσμών και διαμοριακών δυνάμεων (πιο ασθενικές δυνάμεις μεταξύ μορίων). Οι ουσίες διακρίθηκαν σε στοιχεία και ενώσεις ανάλογα με το είδος των σωματιδίων που περιέχουν.
- Η έννοια της χημικής αλλαγής προσεγγίστηκε αρχικά μακροσκοπικά με τη χρήση τριών πειραμάτων (παρασκευή θειούχου σιδήρου, θέρμανση ζάχαρης, καύση κεριού), τα οποία πραγματοποιήθηκαν με τη μορφή επίδειξης μέσα στην τάξη, αλλά και με συμμετοχή των μαθητών σε παιχνίδια ρόλων και παιχνίδια προσομοίωσης. Στη συνέχεια οι χημικές αλλαγές ερμηνεύτηκαν με βάση τη σωματιδιακή θεωρία (μικροσκοπικό επίπεδο και αντιστοιχίσεις με το μακρόκοσμο).
- Έγινε διάκριση των χημικών από τα φυσικά φαινόμενα μέσα από συγκριτικά πειράματα τήξης και καύσης κεριού με χρήση της σωματιδιακής θεωρίας (μικροσκοπικό επίπεδο και αντιστοιχίσεις με το μακρόκοσμο).

Το ερευνητικό εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση των μετρήσεων ήταν η ατομική συνέντευξη κλινικού τύπου, κατά τη διάρκεια της οποίας χρησιμοποιήθηκαν αντικείμενα και πραγματοποιήθηκαν πειράματα ως ερέθισμα. Οι μαθητές καλούνταν να εργαστούν πάνω σε συγκεκριμένα έργα. Σε κάθε έργο, οι μαθητές έκαναν αρχικά παρατηρήσεις (με βάση τις ουσίες που τους επιδεικνυόταν, τα πειράματα που ελάμβαναν χώρα κλπ) και στη συνέχεια καλούνταν να προχωρήσουν σε περιγραφές και ερμηνείες. Για την καλύτερη απόδοση των ερμηνειών τους, οι μαθητές καλούνταν να ζωγραφίσουν αντίστοιχες μικροσκοπικές απεικονίσεις και να τις εξηγήσουν. Η όλη διαδικασία των συνεντεύξεων ήταν διάρκειας περίπου μιας διδακτικής ώρας για κάθε μαθητή σε κάθε μέτρηση.

Το πρωτόκολλο της συνέντευξης περιελάμβανε τα εξής έργα:

- Περιγραφή από το μαθητή και απόδοση σε μικροσκοπικό επίπεδο της δομής α) μιας ουσίας που βρίσκεται σε κανονικές συνθήκες στη στερεή κατάσταση (επίδειξη κρυστάλλου ζάχαρης), β) μιας που βρίσκεται στην υγρή (επίδειξη

σταγόνας νερού) και γ) μιας ουσίας που βρίσκεται στην αέρια κατάσταση (επίδειξη περιεχομένου δοχείου με οξυγόνο). Και στις τρεις περιπτώσεις ο μαθητής θα έπρεπε να φανταστεί και να περιγράψει ότι θα «έβλεπε» αν η μακροσκοπική εικόνα της κάθε ουσίας μεγεθυνόταν δισεκατομμύρια φορές.

- Περιγραφή και σύγκριση των μικροσκοπικών χαρακτηριστικών των σωματιδίων μιας ουσίας (νερό) που βρίσκεται σε τρεις διαφορετικές καταστάσεις, σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες (όπως τα φαντάζεται ο μαθητής). Επίδειξη φωτογραφιών που παρουσιάζουν μακροσκοπικά το νερό στις τρεις καταστάσεις.
- Περιγραφή και σύγκριση των μικροσκοπικών χαρακτηριστικών (όπως τα φαντάζεται ο μαθητής) των σωματιδίων τριών διαφορετικών ουσιών (ζάχαρη, νερό και οξυγόνο) που βρίσκονται σε τρεις διαφορετικές καταστάσεις στην ίδια θερμοκρασία (θερμοκρασία περιβάλλοντος). Επίδειξη φωτογραφιών που παρουσιάζουν μακροσκοπικά τις τρεις ουσίες στις τρεις καταστάσεις, αντίστοιχα.
- Περιγραφή και ερμηνεία του φαινομένου που συμβαίνει κατά τη θέρμανση ζάχαρης σε υψηλή θερμοκρασία. Διενέργεια σχετικού πειράματος (θέρμανση μερικών κόκκων ζάχαρης σε αλουμινόχαρτο με τη χρήση αναπτήρα).
- Περιγραφή και ερμηνεία του φαινομένου της καύσης ενός κεριού. Διενέργεια σχετικού πειράματος (καύση κεριού και σχηματισμός αιθάλης σε γυάλινη επιφάνεια).
- Περιγραφή και ερμηνεία του φαινομένου που συμβαίνει κατά το σκούριασμα ενός σιδερένιου καρφιού. Επίδειξη ενός σκουριασμένου και ενός μη οξειδωμένου σιδερένιου καρφιού.

Τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν από τις συνεντεύξεις των δύο μετρήσεων αναλύθηκαν ποιοτικά από τους ερευνητές. Από την ανάλυση των τριών πρώτων έργων διαμορφώθηκαν κατηγορίες για τους μαθητές, οι οποίοι τελικά εντάχθηκαν σε μοντέλα, ανάλογα με τον τρόπο που αντιλαμβάνονταν τη δομή των υπό μελέτη ουσιών. Επιπλέον, έγινε έλεγχος των απαντήσεων των μαθητών στα τρία αυτά έργα, με βάση τις απαντήσεις που δόθηκαν στα επόμενα έργα, και διαπιστώθηκε ότι υπήρχε συνέπεια ως προς μοντέλα που τελικά διαμορφώθηκαν. Για την ένταξή τους αυτή σε μοντέλα, χρησιμοποιήθηκαν τα κριτήρια που είχαν εισαχθεί από τον Johnson (1998a). Σύμφωνα με αυτά, θα έπρεπε να εξεταστεί αν η ύλη θεωρείται από το μαθητή καταρχήν συνεχής ή ασυνεχής και στην περίπτωση που δεχόταν την ασυνέχεια και την ύπαρξη σωματιδίων να εξεταστούν τα χαρα-

κτηριστικά των σωματιδίων (μικροσκοπικά ή μακροσκοπικά). Έτσι ο Johnson πρότεινε τα εξής μοντέλα:

- X: Η ύλη θεωρείται συνεχής. Δεν υπάρχουν σωματίδια σ' αυτήν
- A: Η ύλη αποτελείται από ένα συνεχές μέσο, μέσα στο οποίο υπάρχουν σωματίδια
- B: Η ύλη αποτελείται από σωματίδια (και μόνο), αλλά αυτά έχουν μακροσκοπικές ιδιότητες
- C: Η ύλη αποτελείται από σωματίδια (και μόνο) με μικροσκοπικές ιδιότητες

Εκτός από τα μοντέλα αυτά, ο Johnson βρήκε να υπάρχουν και μικτά μοντέλα που προκύπτουν από ενδιάμεσες καταστάσεις (XA, AB, BC), ενώ σε περιπτώσεις που δεν μπορούσε να γίνει σαφής διάκριση μεταξύ των B και C χρησιμοποίησε ένα επιπλέον μοντέλο (W).

Από την ανάλυση των υπολοίπων έργων, οι μαθητές κατατάχθηκαν σε κατηγορίες ανάλογα με τις περιγραφές και τις ερμηνείες που έδωσαν σχετικά με τα υπό μελέτη φαινόμενα και τελικά εντάχθηκαν σε τρία επίπεδα αναγνώρισης και ερμηνείας των χημικών φαινομένων (όπως αυτά παρουσιάζονται παρακάτω). Τέλος τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη μοντελοποίηση των μαθητών για τη δομή της ύλης σχετίστηκαν με αυτά που προέκυψαν από την ένταξη των μαθητών σε επίπεδα αναγνώρισης και ερμηνείας των φαινομένων.

Αποτελέσματα και Συζήτηση

Σωματιδιακές ιδέες των μαθητών

Μια πρώτη εικόνα των αποτελεσμάτων που αφορούν στον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές αντιλαμβάνονται τη δομή της ύλης, παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.

Μια πρώτη ανάγνωση του Πίνακα 1 δείχνει ότι οι περιγραφές των μαθητών και των δύο ομάδων πριν την παρέμβαση ήταν μετατοπισμένες προς τις αμιγώς «συνεχείς» αντιλήψεις για τη δομή των ουσιών και στις τρεις καταστάσεις (μοντέλο X) ή παρουσίαζαν μερικά στοιχεία «ασυνέχειας» για κάποιες καταστάσεις (μοντέλο XA). Χαρακτηριστικές απαντήσεις από την πρώτη περίπτωση ήταν η μικροσκοπική περιγραφή της δομής του κόκκου της ζάχαρης ως «ένα άσπρο πράγμα» ή ως «κάτι που είναι ίδιο με αυτό που βλέπω αλλά πιο μεγάλο». Αντίστοιχα,

Πίνακας 1. Ένταξη των μαθητών σε μοντέλα υιοθέτησης της σωματιδιακής θεωρίας (αριθμός μαθητών ανά μοντέλο)

Μοντέλα	Πειραματική Ομάδα		Ομάδα Ελέγχου	
	Πριν	Μετά	Πριν	Μετά
X	3	-	3	3
XA	8	-	7	5
A	1	-	-	2
AB	-	1	1	1
B	-	6	1	1
BC	-	2	-	-
W	-	1	-	-
C	-	2	-	-

περιγραφές που εντάσσονται στο μοντέλο XA (Πίνακας 1) παρουσίαζαν την παραπάνω εικόνα της «συνέχειας» για την στερεή κατάσταση αλλά ήθελαν, για παράδειγμα στην υγρή κατάσταση, τη σταγόνα του νερού να αποτελείται από σωματίδια νερού και ανάμεσά τους να υπάρχει νερό. Αντίθετα, για τους περισσότερους από τους μαθητές των μοντέλων αυτών, η απάντηση σχετικά με το τι θα «έβλεπαν» στην περίπτωση της αέριας ουσίας, ήταν «τίποτα».

Οι αλλαγές ως προς την κατανομή των μαθητών της Π.Ο. στα επιμέρους μοντέλα, είναι εμφανείς μετά την παρέμβαση. Ένας σημαντικός αριθμός μαθητών (5 από τους 12) εντάσσεται πλέον μετά την παρέμβαση σ' ένα μοντέλο υψηλότερο του B. Αυτό είναι ουσιαστικά μια διαπίστωση που υποστηρίζεται και από άλλες παρόμοιες έρευνες (Johnson, 1998; Papageorgiou & Johnson, 2005; Παπαγεωργίου κ.α., 2007), ότι δηλαδή, συνήθως μετά τη διδακτική παρέμβαση οι μισοί περίπου μαθητές κατανοούν τη δομή της ύλης με τρόπο ώστε να εντάσσονται σε μοντέλα που φτάνουν μέχρι και το B, ενώ οι άλλοι μισοί το ξεπερνούν. Τόσο οι μαθητές που εντάσσονται στο μοντέλο B, όσο και αυτοί που το ξεπερνούν (BC, W, C) παρουσίαζαν στο πρώτο έργο του πρωτοκόλλου τη δομή των ουσιών ως ένα σύνολο σωματιδίων (και στις τρεις καταστάσεις) που κινούνται και ανάμεσά τους δεν υπάρχει τίποτα το υλικό. Η διαφοροποίηση τους στα επιμέρους μοντέλα έγινε με βάση τις απαντήσεις τους στα επόμενα δύο έργα, όπου οι μαθητές του μοντέλου B επέμειναν σε μια μακροσκοπική εικόνα των σωματιδίων αυτών. Μίλησαν για παράδειγμα για στερεά, υγρά και αέρια σωματίδια. Αντίθετα, οι μαθητές του μοντέλου C χρησιμοποίησαν τις σχετικές αποστάσεις και κινήσεις των σωματιδίων για να περιγράψουν μικροσκοπικά μια συγκεκριμένη κατάσταση μιας ουσίας.

Αντίθετα με την Π.Ο., οι μετακινήσεις που παρουσιάζονται στα μοντέλα των μαθητών της Ο.Ε. (χρονικά) μετά την παρέμβαση (Πίνακας 1) είναι ελάχιστες (μεταξύ ΧΑ και Α) και πιθανώς δικαιολογούνται από την επίδραση του σχολικού περιβάλλοντος κατά το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε μεταξύ των δύο μετρήσεων.

Η θέρμανση της ζάχαρης

Το φαινόμενο που παρατηρείται κατά τη θέρμανση της ζάχαρης είναι αρκετά πολύπλοκο. Κατά τη διάρκεια όμως των διδασκαλιών παρουσιάσαμε μια σχετικά εύκολη πλευρά του, δηλαδή την τελική μετατροπή της ζάχαρης σε άνθρακα και νερό μετά από παρατεταμένη θέρμανση (δεν ασχοληθήκαμε με την ενδιάμεση δημιουργία καραμέλας ή άλλων προϊόντων). Κατά τη διάρκεια των συνεντεύξεων και στα πλαίσια του αντίστοιχου έργου, οι μαθητές καλούνταν να αναγνωρίσουν καταρχήν το φαινόμενο και στη συνέχεια να δώσουν κάποιες ερμηνείες γι' αυτό. Αν και η έμφαση στην ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών ήταν καθαρά ποιοτική, οι κατηγορίες των απαντήσεων που προέκυψαν εντάχθηκαν ενδεικτικά σε τρία επίπεδα αναγνώρισης/ερμηνείας του φαινομένου (Πίνακας 2).

Από τον Πίνακα 2 είναι εμφανές ότι η έννοια του χημικού φαινομένου είναι ιδιαίτερα απόμακρη και έξω από τις ιδέες των παιδιών του δείγματος. Είναι χαρακτηριστικό ότι κανείς από τους μαθητές των δύο ομάδων δεν περιέγραψε κατά την 1^η μέτρηση κάτι που να υποδηλώνει χημική αλλαγή. Το ίδιο ισχύει και για τους μαθητές της Ο.Ε. κατά τη 2^η μέτρηση. Στις περιγραφές των μαθητών αυτών, αλλά και στα σχήματα που ζωγράφισαν, κυριαρχεί η ιδέα ότι η ζάχαρη έλιωσε. Οι μαθητές περιέγραψαν, είτε μακροσκοπικά, είτε μικροσκοπικά, τη ζάχαρη (ή τα σωματίδια της ζάχαρης, αντίστοιχα) να λιώνει. Πολλοί απάντησαν ότι το τελικό υλικό είναι διαφορετικό από το αρχικό, αιτιολογώντας ότι η ζάχαρη (ή τα σωματίδια της ζάχαρης) άλλαξε χρώμα, σχήμα ή κατάσταση. Η εικόνα δηλαδή, που διαμορφώνεται στην περίπτωση αυτή είναι παρόμοια με εκείνη που περιέγραψε ο Boujaoude (1991) σε σχετική έρευνα, όπου η θέρμανση της ζάχαρης δεν θεωρήθηκε από μαθητές ηλικίας 13-14 ετών, ως χημικό αλλά ως φυσικό φαινόμενο, καθώς αναφέρθηκε ότι η ζάχαρη απλώς αλλάζει κατάσταση (λιώνει) ή χρώμα (γίνεται καφέ).

Αρκετές ήταν και οι περιπτώσεις μαθητών που περιέγραψαν τους κόκκους της ζάχαρης να σπάζουν και να ελευθερώνεται από μέσα η υγρή (καστανόμαυρη) ζάχαρη, κάτι που είναι ανάλογο με την εικόνα που παρουσιάζει ένα αυγό που από

Πίνακας 2. Ενδεικτική κατάταξη μαθητών σε επίπεδα αναγνώρισης/ερμηνείας των φαινομένων της θέρμανσης της ζάχαρης, της καύσης του κεριού και της οξειδωσης του σιδήρου για τις δύο ομάδες μαθητών πριν και μετά την παρέμβαση

		1ο επίπεδο Μη αναγνώριση χημικού φαινομένου	2ο επίπεδο Αναγνώριση χημικού φαινομένου (αλλά ερμηνεία ως φυσικό ή καθόλου ερμηνεία)	3ο επίπεδο Αναγνώριση και ερμηνεία χημικού φαινομένου	
Π.Ο.	Ζάχαρη	Πριν	12	-	-
		Μετά	7	3	2
	Κερί	Πριν	12	-	-
		Μετά	10	1	1
	Σκουριά	Πριν	11	1	-
		Μετά	9	3	-
Ο.Ε.	Ζάχαρη	Πριν	12	-	-
		Μετά	12	-	-
	Κερί	Πριν	12	-	-
		Μετά	12	-	-
	Σκουριά	Πριν	11	1	-
		Μετά	11	1	-

άσπρο, χρωματίζεται κίτρινο όταν σπάζει και ανακατεύεται. Αυτή την παρομοίωση είχε εισάγει ο Andersson (1990) σε σχετική εργασία του, στην οποία προσπάθησε να κατηγοριοποιήσει τις ιδέες των μαθητών ηλικίας 12 – 16 ετών για τα χημικά φαινόμενα. Ο Andersson ονόμασε την αντίστοιχη κατηγορία «αντικατάσταση» (μια ουσία που προϋπήρχε κάπου αλλού, εμφανίζεται σε μια νέα θέση μετά από ένα χημικό φαινόμενο). Ακόμη, κάποιοι μαθητές του δείγματος αναφέρθηκαν στο προϊόν της θέρμανσης ως «ζάχαρη αλλά καμένη», ενώ ένας μαθητής απάντησε «είναι πάλι ζάχαρη αλλά φαίνεται αλλιώς. Είναι καραμέλα». Σε κάθε περίπτωση τα σχήματα που ζωγράφισαν οι μαθητές υποδήλωναν ότι το τελικό προϊόν ήταν και πάλι ζάχαρη. Συνεπώς, οι απόψεις των ερευνητών που τονίζουν τη δυσκολία των παιδιών να προσεγγίσουν την ιδέα του χημικού φαινομένου, φαίνεται να επιβεβαιώνονται.

Ωστόσο, υπάρχει ένας αριθμός μαθητών της Π.Ο. (5 μαθητές) που κατά τη 2^η μέτρηση, αναγνώρισε στη θέρμανση της ζάχαρης την εξέλιξη ενός χημικού φαινομένου. Από αυτούς, δύο μαθητές (Π2, Π5), που εντάσσονται στο 2^ο επίπεδο (Πίνακας 2), δείχνουν να αναγνωρίζουν ότι μετά τη θέρμανση έχει πλέον προκύψει κάτι διαφορετικό από τη ζάχαρη, αλλά δεν ξέρουν τι είναι αυτό. Στα σχήματα που ζωγράφισαν παρουσιάζουν σωματίδια μιας νέας ουσίας, τονίζουν ότι δεν είναι σωματίδια ζάχαρης, αλλά δεν αντιστοιχίζουν σ' αυτά συγκεκριμένη ουσία. Ο ένας από τους δύο (Π5) ανέφερε για τα σωματίδια αυτά: «δεν ξέρω τι είναι, αλλά έχουν άλλη δομή από της ζάχαρης». Ο τρίτος μαθητής (Π1) που επίσης εντάσσεται στο 2^ο επίπεδο, αναγνώρισε ότι μετά τη θέρμανση υπάρχει νέα ουσία, ο άνθρακας, και προσπάθησε να κάνει μια ερμηνεία του φαινομένου αλλά με τρόπο που παραπέμπει σε φυσικό φαινόμενο. Είπε δηλαδή ότι μετά τη θέρμανση έχει παραμείνει ο άνθρακας της ζάχαρης, γιατί το νερό που περιείχε η ζάχαρη εξατμίστηκε. Για το λόγο αυτό ζωγράφισε στο τελικό προϊόν μόνο «σωματίδια άνθρακα».

Οι δύο μαθητές που εντάσσονται στο 3^ο επίπεδο (Πίνακας 2), προχώρησαν πέρα από την αναγνώριση και σε μια ερμηνεία του φαινομένου ως χημικό φαινόμενο. Περιέγραψαν το σχηματισμό του άνθρακα και του νερού μετά τη θέρμανση και αιτιολόγησαν ότι αυτά είναι προϊόντα «σπασίματος δεσμών» μέσα στο σωματίδιο της ζάχαρης. Ωστόσο, ο ένας από αυτούς δεν εξήγησε πώς προέκυψαν οι νέοι δεσμοί κατά το σχηματισμό του νερού, ενώ ο άλλος θεώρησε ότι το νερό ήταν μέρος του μορίου της ζάχαρης και ελευθερώθηκε κατά το σπάσιμο του αντίστοιχου δεσμού. Παράλληλα, ζωγράφισαν τα «σωματίδια άνθρακα» στο τελικό προϊόν, αλλά κανείς τους δε ζωγράφισε κάτι που να σχετίζεται με το σχηματισμό του νερού. Ο Π9 εξήγησε ότι το νερό φεύγει ως αέριο, γι' αυτό και ζωγράφισε μόνο ότι έμεινε στο αλουμινόχαρτο, ενώ ο Π3 παρόμοια μίλησε για εξάτμιση του νερού που σχηματίζεται, γι αυτό και δεν το ζωγράφισε. Φαίνεται δηλαδή ότι οι μαθητές ασχολούνται μόνο με τα άμεσα παρατηρήσιμα προϊόντα της αντίδρασης, κάτι που συναντά κανείς και σε άλλες παρεμφερείς έρευνες (Calik & Ayas, 2005). Παρά το γεγονός ότι οι ερμηνείες τους δεν ήταν ολοκληρωμένες (ως προς τον τρόπο μετασχηματισμού των νέων σωματιδίων) και παρά τις παρανοήσεις που φάνηκε ακόμη να υπάρχουν, οι απαντήσεις των μαθητών αυτών μπορούν να χαρακτηριστούν πολύ ικανοποιητικές.

Η καύση του κεριού

Το φαινόμενο της καύσης του κεριού παρουσιάστηκε στους μαθητές με τη χρήση ενός κεριού αναμμένου και τοποθετημένου πάνω στο τραπέζι μπροστά στο μαθητή, ενώ στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε και ένα κομμάτι γυαλί για το σχηματι-

σμό αιθάλης. Κατ' αντιστοιχία με το έργο που αφορούσε τη θέρμανση της ζάχαρης, οι μαθητές καλούταν να αναγνωρίσουν καταρχήν τα φαινόμενα και στη συνέχεια να δώσουν κάποιες ερμηνείες γι' αυτά.

Κατά την 1^η μέτρηση στις δύο ομάδες, αλλά και κατά τη 2^η μέτρηση στην Ο.Ε., τα αποτελέσματα μάλλον θα πρέπει να θεωρηθούν ως αναμενόμενα. Οι μαθητές εστίασαν την προσοχή τους στην τήξη του κεριού (στο πάνω μέρος, κοντά στην φλόγα) και περιέγραψαν ένα φυσικό φαινόμενο. Τα χαρακτηριστικά αυτών των περιγραφών είναι λίγο – πολύ γνωστά από παρόμοιες έρευνες. Δηλαδή, τα παιδιά διαπίστωσαν ότι το κερί είχε υποστεί μια αλλαγή κατάστασης και ότι παρέμεινε ίδιο ως ουσία (Abraham et al, 1994; Johnson, 2002) ή ότι το κερί ήταν εκεί για να στηρίζει το φυτίλι που καιγόταν (Johnson, 2002). Όσο για το σχηματισμό της αιθάλης πάνω στη γυάλινη επιφάνεια, από τις συνηθέστερες απαντήσεις των μαθητών ήταν ότι «το τζαμάκι μαυρίζει γιατί πηγαίνει ο καπνός από τη φλόγα» (παρόμοιες περιπτώσεις αναφέρονται από τους Meheut et al (1985) και Abraham et al (1992)) ή «η ζέστη από τη φλόγα μαυρίζει το γυαλί» (παρόμοιες περιπτώσεις αναφέρονται από τους Abraham et al (1992)).

Κατά τη 2^η μέτρηση, δύο μαθητές της Π.Ο. αναγνώρισαν ότι η καύση του κεριού είναι ένα χημικό φαινόμενο. Από αυτούς, ο ένας (Π1) μίλησε για σχηματισμό άνθρακα στα προϊόντα της καύσης, αιτιολογώντας όμως ότι στο κερί υπάρχει άνθρακας, ο οποίος «βγαίνει» από το κερί, χωρίς να περιγράψει κάτι που να σχετίζεται με σπάσιμο ή δημιουργία νέων δεσμών. Μέχρι το σημείο αυτό δηλαδή, ο μαθητής φαίνεται να αποδέχεται το φαινόμενο ως φυσικό και να το ερμηνεύει με τον τρόπο που αναφέρθηκε παραπάνω για την κατηγορία της «αντικατάστασης» κατά τον Andersson. Ωστόσο, όταν ρωτήθηκε για το αν υπάρχει και κάτι άλλο στο κερί εκτός από τον άνθρακα, είπε πως (στο μάθημα) «είχαμε πει ότι υπάρχει και υδρογόνο» και μάλιστα, ότι μαζί με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας θα γίνει υδρατμός. Αν και ο μαθητής αυτός δεν μίλησε για σχηματισμό νέων δεσμών, φαίνεται να δέχεται τη δημιουργία μιας νέας ουσίας (νερό) μέσα από μια διαδικασία στην οποία συμμετέχει το οξυγόνο της ατμόσφαιρας, χωρίς όμως να είναι σε θέση να δώσει περισσότερες διευκρινίσεις για το «πώς». Στο σχετικό σχήμα που του ζητήθηκε να σχεδιάσει, ζωγράφησε τόσο τα σωματίδια του άνθρακα και του υδρογόνου, όσο και τα σωματίδια του οξυγόνου, προσθέτοντας (με λέξεις) ότι τα δύο τελευταία μαζί θα γίνουν υδρατμοί. Ο μαθητής αυτός, αν και στο μεγαλύτερο μέρος της ερμηνείας του κινείται μέσα από μια λογική φυσικής αλλαγής, παρουσιάζει στοιχεία υιοθέτησης της ιδέας της χημικής αλλαγής.

Ο μόνος μαθητής που, πέρα από το γεγονός ότι αναγνώρισε την ύπαρξη νέων ουσιών μετά την καύση, προχώρησε και σε μια ερμηνεία περισσότερο εμπεριστα-

τωμένη ήταν ο Π3. Ο μαθητής αυτός εξήγησε ότι κατά τη διάρκεια της καύσης σπάζουν οι δεσμοί μεταξύ του άνθρακα και του υδρογόνου μέσα στο σωματίδιο του κεριού και ότι τα νέα αυτά σωματίδια που προκύπτουν (άνθρακας και υδρογόνο) ενώνονται με νέους δεσμούς με τα σωματίδια του οξυγόνου. Για τους δεσμούς μεταξύ οξυγόνου και υδρογόνου εξήγησε ότι θα δημιουργήσουν νερό, αλλά για αυτούς μεταξύ του άνθρακα και του οξυγόνου δεν έδωσε μια σαφή απάντηση. Πιθανώς να τον προβλημάτισε ο σχηματισμός της αιθάλης (αναγνώρισε το σχηματισμό άνθρακα πάνω στη γυάλινη επιφάνεια), όπου ο άνθρακας δεν ενώνεται με το οξυγόνο. Η δυσκολία αυτή στην αναγνώριση του διοξειδίου του άνθρακα ανάμεσα στα προϊόντα της καύσης επισημαίνεται και από τους Calik και Ayas (2005), καθώς σε έρευνά τους που έκαναν σε μαθητές 13 - 14 ετών (αλλά και σε υποψήφιους δασκάλους) διαπίστωσαν ότι οι μαθητές παρέλειπαν να αναφερθούν στο σχηματισμό διοξειδίου του άνθρακα κατά την καύση του κεριού, κάτι που ίσως να οφείλεται στην τάση των μαθητών να δίνουν μεγαλύτερη προσοχή σε γεγονότα άμεσα παρατηρήσιμα. Αντίθετα, στην παρούσα έρευνα, ο άνθρακας που σχηματίζεται πάνω στη γυάλινη επιφάνεια (λόγω του χρώματός του) ήταν εύκολα παρατηρήσιμος από το μαθητή. Στο τελικό σχέδιο ο μαθητής αυτός ζωγράφησε σωματίδια που εξήγησε ότι είναι τα νέα σωματίδια που προκύπτουν από τους νέους δεσμούς, αποφεύγοντας όμως να τα ονομάσει. Μια τέτοια ερμηνεία, αν και απέχει από μια πλήρη ερμηνεία, θα πρέπει να θεωρηθεί σύμφωνα με τον Johnson, ως πολύ ικανοποιητική. Σε μια πρόσφατη σχετικά εργασία του (Johnson, 2002), κατέταξε τις περιπτώσεις (αναγνώρισης και) ερμηνείας του φαινομένου της καύσης του κεριού σε έξι επίπεδα. Ωστόσο, κανείς από ένα σύνολο 33 μαθητών ηλικίας 11 - 14 ετών δεν μπόρεσε να καταταγεί στο έκτο (ανώτερο) επίπεδο μετά από τα δύο πρώτα χρόνια της μακρόχρονης (τριετούς) παρέμβασής του (στην οποία συμπεριλαμβανόταν και η διδασκαλία της σωματιδιακής θεωρίας) και μόλις τέσσερις μαθητές το κατόρθωσαν μετά το κλείσιμο του τριετούς αυτού κύκλου. Οι περισσότεροι από αυτούς τους μαθητές κατατάχτηκαν επανειλημμένα σε χαμηλά επίπεδα ερμηνείας όπου κυριαρχούσε η ιδέα της φυσικής αλλαγής.

Σε αντίθεση με τον Π3, ο Π9 που είχε δώσει μια ικανοποιητική ερμηνεία για το φαινόμενο της θέρμανσης της ζάχαρης, δεν φάνηκε να αντιλαμβάνεται ότι η περίπτωση της καύσης του κεριού είναι ένα χημικό φαινόμενο. Εκείνο που ήταν εμφανές στη διάρκεια αυτού του μέρους της συνέντευξης, ήταν ότι εστίαζε την προσοχή του στη στερεή και την υγρή κατάσταση του κεριού και δεν αντελήφθη ότι το φαινόμενο εξελισσόταν στην αέρια κατάσταση. Για το λόγο αυτό δεν αναφέρθηκε καθόλου στο οξυγόνο, ενώ το πείραμα με το σχηματισμό αιθάλης πάνω στη γυάλινη επιφάνεια μάλλον τον έκανε να προβληματιστεί (απάντησε «δεν ξέρω»). Κάτι αντίστοιχο φαίνεται ότι έγινε στη σχετική έρευνα των Calik και Ayas

(2005), όπου οι μαθητές (13 – 14 ετών) επικέντρωσαν την προσοχή τους στην τήξη του κεριού και ερμήνευσαν το φαινόμενο ως φυσική αλλαγή. Τέτοιες περιπτώσεις μαρτυρούν ότι οι μαθητές δεν είναι προϋδρασμένοι για μια χημική αλλαγή – δεν είναι από τις πρώτες ιδέες που θα έφερναν στο μυαλό τους για ένα φαινόμενο που παρακολουθούν.

Το σκούριασμα

Το φαινόμενο της οξειδωσης του σιδήρου δεν ήταν από τα φαινόμενα που είχαν μελετηθεί κατά την παρέμβαση. Κατά τις συνεντεύξεις παρουσιάστηκαν στους μαθητές ένα σιδερένιο καρφί που είχε υποστεί οξειδωση (σκούριασμα) και ένα που δεν ήταν οξειδωμένο. Ζητήθηκε από τους μαθητές να αναγνωρίσουν το φαινόμενο της οξειδωσης και να δώσουν μια ερμηνεία γι' αυτό. Η προσδοκία μας περιοριζόταν σε μια απλή ερμηνεία που θα περιλάμβανε την μετατροπή του σιδήρου στο αντίστοιχο οξειδίο με συμμετοχή του οξυγόνου της ατμόσφαιρας.

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 2, κατά την 1^η μέτρηση και στις δύο ομάδες, η συντριπτική πλειοψηφία των μαθητών δεν αναγνώρισε το φαινόμενο ως χημικό, κάτι που μάλλον θα πρέπει να θεωρηθεί ως αναμενόμενο (Hesse & Andersson, 1992; Krnel et al, 1998). Είναι χαρακτηριστικό ότι, ενώ πολλοί μαθητές φάνηκε αρχικά να δηλώνουν ότι η σκουριά είναι κάτι το διαφορετικό από το σίδηρο, οι επόμενες απαντήσεις έδειχναν ότι κάτι τέτοιο δεν ίσχυε. Ως σκουριά αναγνωρίστηκε ο σίδηρος που έχει παλιώσει ή αυτός που έχει αλλάξει χρώμα από τη βροχή. Σε παρεμφερή έρευνα (Abraham et al, 1992) διαπιστώθηκε ότι, μαθητές 13 – 14 ετών, ενώ αρχικά αναφερόταν σε αλλαγές υλικών, στη συνέχεια οι αλλαγές αυτές προσδιορίστηκαν στο σχήμα ή στη φυσική κατάσταση. Τέτοιες περιπτώσεις υπενθυμίζουν το πόσο προσεκτικός πρέπει να είναι κανείς σε τέτοιου είδους ερμηνείες (Johnson & Gott, 1996). Ωστόσο, δύο μαθητές (ένας από κάθε ομάδα) φάνηκε να αναγνωρίζουν τη σκουριά ως διαφορετική ουσία από το σίδηρο. Ο μαθητής Π9 της Π.Ο. αναγνώρισε ότι στο σκουριασμένο καρφί υπάρχει επιφανειακά και ένα άλλο υλικό εκτός από το σίδηρο, κολλημένο πάνω στο σίδηρο (φάνηκε και στη σχετική ζωγραφιά που έκανε), κάτι που έγινε από το σίδηρο, αλλά δεν ήξερε τι θα μπορούσε να ήταν και πώς δημιουργήθηκε. Παρόμοια, ο μαθητής Ε6 της Ο.Ε. περιέγραψε τη δημιουργία ενός άλλου νέου υλικού με το πέρασμα του χρόνου, κάτι που δεν είναι σίδηρος, που ονομάζει σκουριά και που υπάρχει εξωτερικά από το σίδηρο στο καρφί, χωρίς όμως να μπορεί να δώσει κάποια εξήγηση για το σχηματισμό του.

Κατά τη 2^η μέτρηση, ο μαθητής Ε6 έδωσε απαντήσεις πολύ κοντά σ' αυτές που είχε δώσει και κατά την 1^η μέτρηση και ήταν ο μόνος της Ο.Ε. που κατατάχτηκε

στο 2^ο επίπεδο (Πίνακας 2). Αντίθετα, οι μαθητές που κατατάχτηκαν σ' αυτό το επίπεδο από την Π.Ο. ήταν τρεις (σ' αυτούς περιλαμβάνεται και ο Π9 της 1^{ης} μέτρησης). Οι περιγραφές των μαθητών αυτών κινούνταν στην ίδια λογική με τις περιγραφές των Π9 και Ε6 της 1^{ης} μέτρησης, με τη διαφορά ότι σ' αυτές ενσωματώθηκαν στοιχεία από τη σωματιδιακή θεωρία. Οι ζωγραφιές τους περιελάμβαναν αναπαραστάσεις σωματιδίων ενός νέου υλικού (που το ονόμαζαν σκουριά) στην εξωτερική πλευρά του καρφιού, ενώ στο εσωτερικό του καρφιού υπήρχαν σωματίδια που τα ονόμαζαν σωματίδια σιδήρου. Ωστόσο, κανείς από τους τρεις αυτούς μαθητές δεν μπόρεσε να κάνει κάποια προσπάθεια ερμηνείας για το σχηματισμό της σκουριάς.

Σχέση σωματιδιακών ιδεών και ερμηνείας φαινομένων

Ο μικρός αριθμός των μαθητών που μετά την παρέμβαση αναγνώρισαν και ερμήνευσαν τα φαινόμενα ως χημικά δεν αφήνει πολλά περιθώρια για ιδιαίτερα ασφαλή συμπεράσματα σχετικά με τη σχέση της ανάπτυξης σωματιδιακών ιδεών και της ερμηνείας των φαινομένων. Ωστόσο, όσοι μαθητές κατατάσσονται στο 3^ο επίπεδο ερμηνείας των φαινομένων είχαν αντίστοιχα ενταχθεί στο μοντέλο C ως προς τη θεώρηση της ύλης από αυτούς (Πίνακας 3). Ακόμη, αν εξαιρέσει κανείς το γεγονός ότι ο μαθητής Π9 (που εντάσσεται στο μοντέλο C) δεν μπόρεσε να παρακολουθήσει το φαινόμενο της καύσης του κεριού και να το ερμηνεύσει ως χημικό, οι δύο μαθητές Π3 και Π9 που εντάσσονται στο μοντέλο C, είναι και αυτοί που κατατάσσονται υψηλότερα από τους υπόλοιπους μαθητές σε όλα τα φαινόμενα. Αυτό δηλώνει ότι υπάρχει μια σχετική συνέπεια στα υψηλά κατά Johnson μοντέλα, όχι όμως τόσο μεγάλη, όσο φάνηκε να συμβαίνει στα φυσικά φαινόμενα (Παπαγεωργίου κ.α., 2007).

Πίνακας 3. Ενδεικτική παρουσίαση των μοντέλων των μαθητών της Πειραματικής Ομάδας που αναγνώρισαν ή και ερμήνευσαν τα φαινόμενα (2^ο και 3^ο επίπεδο)

	Θέρμανση ζάχαρης	Καύση κεριού	Σκούριασμα
2 ^ο επίπεδο	3 [B, B, B]	1 [B]	3 [B, C, C]
3 ^ο επίπεδο	2 [C, C]	1 [C]	-

Πέρα από τις παραπάνω περιπτώσεις, η επίδραση της σωματιδιακής θεώρησης της ύλης στον τρόπο περιγραφής των φαινομένων ήταν εμφανής ακόμη και στις

περιπτώσεις που τα φαινόμενα εκλήφθηκαν ως φυσικά. Οι μαθητές χρησιμοποίησαν την ιδέα ότι τα σωματίδια αποτελούσαν τις ουσίες που διαχειριζόταν, αλλά δεν μπορούσαν να δεχθούν ότι τα σωματίδια αυτά μπορούσαν να πάψουν να υφίστανται ως οντότητες μετά τα φαινόμενα και ότι κάποια άλλα σχηματιζόταν στη θέση τους.

Συμπεράσματα

Αν ήθελε κανείς να διατυπώσει ένα μόνο κύριο συμπέρασμα που προκύπτει μέσα από την παρούσα έρευνα, αυτό θα ήταν σίγουρα ότι η ιδέα της χημικής αλλαγής είναι ιδιαίτερα απόμακρη από τα παιδιά και δύσκολα μπορεί να υιοθετηθεί από αυτά. Ο αριθμός των μαθητών που ακόμη και μετά την παρέμβαση φαίνεται να αναγνωρίζει τα χημικά φαινόμενα είναι εντυπωσιακά μικρός, ενώ ο αριθμός αυτών που μπορεί να κάνει μια αξιόλογη ερμηνεία προς τη σωστή κατεύθυνση είναι ακόμη μικρότερος. Προφανώς, η επισήμανση που γίνεται από τους Johnson και Gott (1996), ότι δηλαδή οι αναφορές των μαθητών σε αλλαγές χαρακτηριστικών κατά τη διάρκεια των φαινομένων θα πρέπει να εξετάζονται με ιδιαίτερη καχυποψία και δεν θα πρέπει να ερμηνεύονται κατ' ανάγκη ως υιοθέτηση χημικής αλλαγής από τους μαθητές, έχει πραγματική βάση. Στην παρούσα έρευνα οι μαθητές φαίνεται ότι, προσπαθώντας να βρουν μια λογική εξήγηση για τις αλλαγές που παρατηρούν, αναφέρονται σ' αυτό που τους φαίνεται πιο βολικό. Έτσι, αυτό που περιγράφουν ως αλλαγή στην περίπτωση της θέρμανσης της ζάχαρης και της καύσης του κεριού είναι τις περισσότερες φορές μια διαδικασία τήξης, ενώ στην περίπτωση της οξειδωσης του σιδήρου περιγράφουν συνήθως τη σκουριά ως μια άλλη μορφή σιδήρου. Εξάλλου, αυτή η σύγχυση που υπάρχει στη διάκριση φυσικών και χημικών φαινομένων είναι κάτι που συχνά έχει προβληματίσει και έχει γίνει αντικείμενο ιδιαίτερης μελέτης (Stavridou & Solomonidou, 1989; Τσαπαρλής, 2002; Tsaparlis, 2003).

Είναι σημαντικό ότι, ακόμη και όσες ερμηνείες έγιναν από τους μαθητές προς τη σωστή κατεύθυνση, ήταν ημιτελείς και με σημεία παρανοήσεων. Αυτό βέβαια οφείλεται και στην πολυπλοκότητα των χημικών φαινομένων που μελετήθηκαν. Θα πρέπει να αναγνωριστεί ότι και τα τρία αυτά χημικά φαινόμενα είναι γενικά πολύπλοκα. Στην καύση του κεριού και στο σκούριασμα του καρφιού υπάρχει για παράδειγμα, η συμμετοχή αερίων που δεν γίνονται αντιληπτά από τους μαθητές, ενώ ο ενδιάμεσος σχηματισμός άλλων προϊόντων κατά τη θέρμανση της ζάχαρης μπορεί επίσης να δημιουργήσει προβλήματα στους μαθητές. Ωστόσο, φαινόμενα σαν κι αυτά επιλέγονται συνήθως στις σχετικές έρευνες λόγω της σχετικής εξοικείωσης - εμπειρίας που έχουν οι μαθητές με τα ίδια τα φαινόμενα ή τις ουσίες

που μετέχουν σ' αυτά. Γενικά δεν φαίνεται να είναι διαθέσιμα στη βιβλιογραφία πειράματα που να περιλαμβάνουν απλές περιπτώσεις χημικών φαινομένων, που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τέτοιες έρευνες. Αυτό αποτελεί ενδεχομένως ένα πρόβλημα με το οποίο θα πρέπει να ασχοληθεί περισσότερο η ερευνητική κοινότητα στο μέλλον. Περιπτώσεις για παράδειγμα άλλων χημικών αλλαγών, όπως η επίδραση ξιδιού σε σόδα, που χρησιμοποιήθηκαν από άλλους ερευνητές (Liu & Lesniak, 2006), δε φάνηκε να εξυπηρετούν περισσότερο προς αυτή την κατεύθυνση.

Από τις τρεις περιπτώσεις χημικών φαινομένων που μελετήθηκαν, η θέρμανση της ζάχαρης φάνηκε να προσεγγίζεται καλύτερα από περισσότερους μαθητές. Το φαινόμενο της καύσης του κεριού τους προβλημάτισε περισσότερο, πιθανώς λόγω του ότι περιλαμβάνει την τήξη του κεριού, κάτι που φαίνεται να τους παραπέμπει σ' ένα εξολοκλήρου φυσικό φαινόμενο. Το σκούριασμα του καρφιού αποδείχτηκε το πιο δύσκολο στην προσέγγιση του, πιθανώς επειδή δεν είχε διδαχθεί κατά την παρέμβαση.

Η διδασκαλία της σωματιδιακής θεωρίας υιοθετήθηκε από τους μαθητές σε ικανοποιητικό βαθμό και φάνηκε να έχει μια θετική επίδραση στην προσέγγιση των φαινομένων από τους μαθητές. Όσες ερμηνείες έγιναν από τους μαθητές προς τη σωστή κατεύθυνση κατά τη 2^η μέτρηση, ήταν σαφώς επηρεασμένες από αυτήν. Οι μαθητές αυτοί χρησιμοποίησαν την ιδέα της υλικής υπόστασης μιας ουσίας στη βάση της ύπαρξης των σωματιδίων, καθώς και την ιδέα της ύπαρξης συγκράτησης μεταξύ των σωματιδίων (ύπαρξη δεσμών), για να ερμηνεύσουν τις παρατηρούμενες αλλαγές. Η ιδέα της κατάργησης ενός δεσμού (σπάσιμο δεσμού) φαίνεται να χρησιμοποιείται με μεγαλύτερη ευκολία σε σχέση με τη δημιουργία νέων δεσμών. Γι αυτό και φαίνεται να υπάρχει μια δυσκολία στον προσδιορισμό των νέων ουσιών που δημιουργούνται μετά τα φαινόμενα. Είναι σημαντικό ακόμη, ότι οι μαθητές που παρουσιάζουν μεγαλύτερη συνέπεια στις απαντήσεις τους, τόσο ως προς την αναγνώριση, όσο και ως προς την ερμηνεία των χημικών φαινομένων, είναι μαθητές που εντάσσονται στα υψηλά σωματιδιακά μοντέλα (B και C), αν και η συνέπεια αυτή δεν είναι τόσο μεγάλη, όσο έχει παρατηρηθεί σε αντίστοιχα άλλα φυσικά φαινόμενα (Παπαγεωργίου κ.α., 2007).

Όλα τα παραπάνω συνηγορούν ακόμη περισσότερο υπέρ του κύριου ισχυρισμού ότι η κατάκτηση της έννοιας της χημικής αλλαγής από τους μαθητές είναι ιδιαίτερα δύσκολη υπόθεση. Όταν, μετά από την παρούσα παρέμβαση διαπιστώνεται να υπάρχει αντίσταση των ιδεών των μαθητών σε σημαντικό βαθμό, γίνεται ξεκάθαρο ότι ο σχεδιασμός επόμενων αντίστοιχων διδασκαλιών θα πρέπει να είναι ακόμη πιο προσεκτικός. Σε έναν τέτοιο σχεδιασμό, η διδασκαλία της σωματιδια-

κής θεωρίας φαίνεται να είναι προϋπόθεση για την ερμηνεία των χημικών φαινομένων. Ωστόσο, ίσως χρειάζεται να δοθεί περισσότερη έμφαση στα είδη των σωματιδίων, αφού οι μαθητές φάνηκε να χρησιμοποιούν την έννοια «σωματίδιο» περισσότερο από τις έννοιες «άτομο» και «μόριο», ενώ υπήρχε και μια δυσκολία στο να αναγνωρίσουν ως ανεξάρτητες οντότητες τα άτομα που υπάρχουν στο μόριο της ζάχαρης και του κεριού (π.χ. υιοθέτηση της ύπαρξης μορίου νερού μέσα στο μόριο της ζάχαρης). Ακόμη, φαίνεται ότι οι μαθητές δεν μπορούν να χειριστούν εύκολα την έννοια του δεσμού (κατάργηση – δημιουργία) αλλά και την έννοια της ενέργειας του δεσμού που, ενώ αναφέρθηκε στη διδασκαλία, δεν χρησιμοποιήθηκε από αυτούς στην ερμηνεία των φαινομένων. Τέλος, το γεγονός ότι στην περίπτωση της οξειδωσης του σιδήρου δεν υπήρξε μαθητής που να προχώρησε σε ερμηνεία του χημικού φαινομένου, δείχνει ίσως την αναγκαιότητα εξοικείωσης των μαθητών με όσο το δυνατόν περισσότερα χημικά φαινόμενα, και άρα ουσιαστικά την αναγκαιότητα πιο μακροχρόνιων διδακτικών παρεμβάσεων.

Αναφορές

- Abraham, M. R., Gizybowski, E. B., Renner, J. W. & Marek, E. A. (1992). Understandings and misunderstandings of eighth graders of five chemistry concepts found in textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(2), 105-120.
- Abraham, M. R., Williamson, V. M. & Westbrook, S. L. (1994). A cross-age study of the understanding of five chemistry concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(2), 147-165.
- Ahtee, M. & Varjola, I. (1998). Students understanding of chemical reaction. *International Journal of Science Education*, 20, 305-316.
- Andersson, B. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18, 53-85.
- Ardac, D. & Akaygun, S. (2005). Using static and dynamic visuals to represent chemical change at molecular level. *International Journal of Science Education*, 27(11), 1269-1298.
- Barker, V. & Millar, R. (1999). Students' reasoning about chemical reactions: What changes occur during a context-based post-16 chemistry course? *International Journal of Science Education*, 21(6), 645-665.
- Boo, H-K. (1998). Students' understanding of chemical bonds and the energetics of chemical reactions. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(5), 569-581.
- Boo, H-K & Watson, J. R. (2001). Progression in high school students' (Aged 16-18) conceptualizations about chemical reactions in solution. *Science Education*, 85, 568-585.
- Boujaoude, S. B. (1991). A study of the nature of students' understanding about the concept of burning. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(8), 689-704.

- Brosnan, T. & Reynolds, Y. (2001). Student's explanations of chemical phenomena: macro and micro differences. *Research in Science and Technological Education*, 19(1), 69-78.
- Calik, M. & Ayas, A. (2005). A comparison of level of understanding of eighth-grade students and science student teachers related to selected chemistry concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(6), 638-667.
- Johnson, P. M. & Gott, R. (1996). Constructivism and evidence from children's ideas. *Science Education*, 80, 561-577.
- Johnson, P. (1998a). Progression in children's understanding of a "basic" particle theory: a longitudinal study. *International Journal of Science Education*, 20(4), 393-412.
- Johnson, P. M. (1998b). Children's understanding of changes of state involving the gas state, Part 1. Boiling water and the particle theory. *International Journal of Science Education*, 20(5), 567- 583.
- Johnson, P. (2000). Children's understanding of substances, part 1: recognizing chemical change. *International Journal of Science Education*, 22(7), 719-737.
- Johnson, P. (2002). Children's understanding of substances, part 2: explaining chemical change. *International Research in Science Teaching*, 24(10), 1037-1054.
- Johnstone, A. H. (2000). Teaching of chemistry – logical or psychological? *Chemistry Education Research and Practice in Europe*, 1(1), 9-15.
- Hesse, J. J. & Andersson, C. W. (1992). Students' conceptions of chemical change. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(3), 277-299.
- Krnel, D., Watson, R. & Glazar, S.A. (1998). Survey of research related to the development of the concept of matter. *International Journal of Science Education*, 20(3), 257-289.
- Liu, X. & Lesniak, K. (2006). Progression in children's understanding of the matter concept from elementary to high school. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(3), 320-347.
- Meheut, M., Saltiel, E. & Tiberghien, A. (1985). Pupils' (11-12 years old) conceptions of combustion. *European Journal of Science Education*, 7(1), 83-93.
- Paik, S.-H., Kim, H.-N., Cho, B.-K. & Park, J.-W. (2004). K-8th grade Korean students' conceptions of 'changes of state' and conditions for changes of state. *International Journal of Science Education*, 26(2), 207-224.
- Papageorgiou & Johnson (2005). Do particle ideas help or hinder pupils' understanding of phenomena? *International Journal of Science Education*, 27(11), 1299-1317.
- Solsona, N. J., Izquierdo, M. & De Jong, O. (2003). Exploring the development of students' conceptual profiles of chemical change. *International Journal of Science Education*, 25(1), 3-12.
- Solomonidou, C. & Stavridou, H. (2000). From inert object to chemical substance: Students' initial conceptions and conceptual development during an introductory experimental chemistry sequence. *Science Education*, 84(3), 382-400.
- Stavridou, H. & Solomonidou, C. (1989). Physical phenomena - chemical phenomena: Do pupils make the distinction? *International Journal of Science Education*, 11(1), 83-92.

- Stavridou, H. & Solomonidou, C. (1998). Conceptual reorganization and the construction of chemical reaction concept during secondary education. *International Journal of Science Education*, 20(2), 205-221.
- Tsaparlis, G. (2003). Chemical phenomena versus chemical reactions: Do students make the connection? *Chemistry Education Research and Practice*, 4, 31-43.
- Παπαγεωργίου, Γ., Johnson, P. M. & Φωτιάδης, Φ. (2007). Διδασκαλία και μάθηση φυσικών φαινομένων με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού στα πλαίσια της σωματιδιακής θεώρησης της ύλης. Στο Γ. Τσαπαρλής (Επ.), Πρακτικά 5^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση, Τεύχος Α' (σ. 230-238), Ιωάννινα.
- Τσαπαρλής, Γ. (2002). Χημικά φαινόμενα και χημικές αντιδράσεις: Κάνουν οι μαθητές και οι φοιτητές τη σύνδεση;. Στο Ν. Βαλανίδης (Επ.), Πρακτικά 2^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση, Τόμος Ι (σ. 278-284), Λευκωσία, Κύπρος.